

4. Különböző méretarányú vegetáció monitoring célú távérzékelési adatgyűjtés és -elemzés 2000-től napjainkig a Délkelet-Alföldön és a Vajdaságban

Kovács Ferenc; Ladányi Zsuzsanna; Blanka Viktória; Szilassi Péter; van Leeuwen, Boudewijn; Tobak Zalán; Gulácsi András; Szalma Elemér; Cseuz László

Bevezetés

A biomassza (felszínborítás) alapvető fontosságú klímaváltozó, ezért pontos és naprakész információval kell rendelkezniük a vegetáció állapotáról, akár globálisan is. Klímaindikátorként a rövid idejű és tendenciaszerű változások és szélsőségek jelzője, amelynek értékelésére rendelkezésre áll távérzékelési módszertan (Ladányi et al. 2011, Gulácsi és Kovács 2018, Szabó et al. 2019). A változó környezeti körülmények alapvetően csökkenő biológiai produktivitást jeleznek előre, így a környezeti vizsgálatok kulcsfontosságú kérdése, hogy a mező- és erdőgazdálkodás a közeljövőben hogy lesz képes alkalmazkodni a folyamatosan változó adottságokhoz?

A felvételezés időfelbontásának köszönhetően a multispektrális vegetációs megfigyelés gyakorlatilag valós idejű eredményekkel támogathatja a területi tervezést. Az általunk vizsgált 2000–2018 közötti időszak több, mint 450 felvétel pixel alapú feldolgozását, elemzését jelenti, amely adatmennyiség nő az aktuális műholdképek bevonásával. Ezért a feldolgozaskor az automatizáció, a big data módszertan elkerülhetetlen, amelyet a szabadon elérhető Google Engine platformon oldottunk meg (Kumar és Mutanga 2019). Célunk az aszály és vegetáció anomália közötti kapcsolat térbeli elemzése, melynek aktuális eredménye folyamatosan elérhetővé válik a projekt interaktív weboldalán.

A mintaterület az erdei ökoszisztémák aszályérzékenysége szerint a klímaváltozás által fokozottan veszélyeztetett régiók egyike, ahol a klimatikus viszonyokhoz igazodó földhasználat kialakításában fontos szerepe van az erdőgazdasághoz kapcsolódó ökoszisztémák megőrzésének, állapotjavításának (Mátyás et al. 2010). A fásszáru növényzettel borított felszínek a talajvízhez közeli rétegekből is nyerhetnek vizet, így a tartós szárazság kimutatására alkalmasak, míg a gyepek, rétek és szántóföldek lágyszáru növényei a rövid ideig tartó csapadékhiány miatti szárazságra érzékenyek.

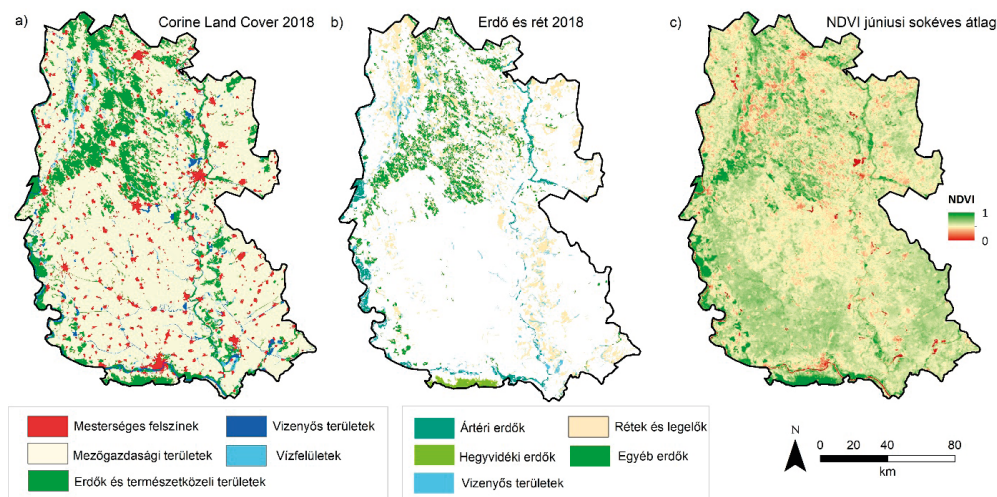
Eredményeink a térségre vonatkozóan egyedülállóak, így jól kiegészítik azoknak az európai és nemzeti aszály monitoring GIS rendszerek térbeli eredményeit, amelyek

a klímaváltozás hatásokat nagyobb idő- és térbeli léptékben vizsgálják (European Drought Observation, Drought Watch, TEMRE, NATÉR).

A mezőgazdasági művelésű területeken a nagy időfelbontású MODIS 250 m-es képeiből nyert biomassa produkciót a LUCAS adatbázis alapján, kukoricát termelő parcellákon ellenőriztük több évre vonatkozóan. A nagy térbeli felbontású vegetáció monitoring lehetőségeit eBee X merevszárnyú drón felvételeinek vizsgálata alapján összegeztük.

Mintaterület és módszerek

A biomassa produkció elemzését a teljes mintaterületre kis felbontású műholdfelvételekkel vizsgáltuk (4.1/a ábra). Az elmúlt két évszázadban jelentős területeket vontak művelésbe, így kis területen maradt fent a természetes vegetáció, mint a lösz- és homokpuszták, vagy az ártéri ligeterdők. Napjainkban az északi, magyar részen az erdőtelepítések nyomán jelentős kiterjedésű a fás vegetáció, míg a Vajdaságban a mezőgazdasági hasznosítás dominál. A mezőgazdasági termésátlagokra nem érhető el közös és részletes térbeli adatbázis, ezért a hosszú idősoros adatok értékelését 2000-től csak a viszonylag állandó területhasználatokra végeztük el: különböző típusú erdőkre, gyepekre és legelőkre, illetve vizes élőhelyekre (4.1/b ábra). A lehatárolás alapját a 2018-ban készült 1:100.000-es Corine Land Cover adatbázis képezte (4.1/a ábra). A MODIS kis felbontású műholdképein az évszakos változások, eltérések a homogén cellák alapján különböztethetők meg. A távérzékelési módszereknek a felszíni heterogenitásra jellemző érzékenyséjük miatt le kellett válogatnunk a homogén fedettségű pixeleket. A magyarországi erdészeti monitoring (TEMRE) 75%-os fedettséggel számol, Kovács (2018) a 66%-os homogén fedettségű pixeleket alapján elemzett, míg Kern et al. (2017) a minimum 90%-os fedettséget mutató cellákkal számolt. A területünket megvizsgálva az adott felszínborítással minimum 50%-ban fedett MODIS cellákat válogattuk le, így a vizsgált felszín 6265 km², ami a teljes mintaterület 38%-a. A szűrést követően CLC 2018 alapján meghatározott gyeperdő és legelő 37%-át, a dombvidéki erdők 70%-át, a síkvidéki erdők és az ártéri erdők 40-40%-át, valamint a vizes élőhelyek 26%-át értékeltük a monitoring során. Az értékelt felszín fedettségi aránya a lágyszárúak, illetve fásszárúak megoszlásában közel 50-50%; az erdők többsége a síkvidéki erdő (2130 km²), míg a legkevesebb a dombvidéki erdő (200 km²).



4.1 ábra Felszínborítás a Corine Land Cover (2018) alapján (a); a lehatárolt erdő, gyep-rét-legelő és vizes élőhely poligonok (b); valamint a mintaterület átlagos júniusi (2000-2017) NDVI térképe (c)

Spektrális indexek alkalmazása az aszálymonitoring vizsgálatban

Négy általánosan alkalmazott spektrális indexet teszteltünk: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Normalized Difference Water Index (NDWI), Normalized Difference Drought Index (NDDI). A szabadon elérhető, 500 m-es térbeli felbontású, 8 napos MODIS MVC (Maximum Value Composite) a cellához az NDVI maximum által prezentált pálya reflektanciáját párosítja; a 8 napos periódus $NDVI_{max}$ értéke mindig a geometriailag pontosabb lesz. MVC feldolgozottsággal számolt indexek a napi adatoknál jobban becsülnek (Huete et al. 2002). A MOD09A1 felvételek és MOD13A1.006 termékek feldolgozása a Google Earth Engine platformon történt.

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

$$EVI = G \cdot ((NIR - Red) / (NIR + C1 \cdot Red + C2 \cdot Blue + L))$$

$$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

$$NDDI = (NDVI - NDWI) / (NDVI + NDWI)$$

ahol NIR: közeli infravörös-, SWIR: rövid infravörös-, Red: vörös-, Blue: kék hullámhossz-tartományok; $L=1$; $C1=6$; $C2=7,5$; $G=2$

Kern et al. (2017) és Gulácsi és Kovács (2018) szerint is megalapozott ha több indexet használunk egyidejűleg, mivel nincs tökéletes index nincs. Értékük $-1 - +1$ közötti. Az NDVI és EVI esetében minél nagyobb az index értéke, annál nagyobb a megfigyelt fotoszintetikus aktivitás. Biológiai összetett területen az NDVI jó a változás-értékelésében, de a sok biomasszával bíró területeken tendál a telítettség

felé, ami skálázási problémát okoz. Az EVI érzékenyebb a magas biomassza produkcióra, jobban definiált csúccsal, szűkebb tartománya előny a „telítettség” kiküszöbölésében, hangsúlyosan mutatja a levélesztést, redukálja a felszín és az atmoszféra hatásait. A regionális megfigyelések jelentős része a MODIS EVI megoldásokra alapoz (Huete et al. 2002, Solano et al. 2010).

Az NDWI a növénylombozat nedvességtartalmát jellemzi: ha csökken a víztartalom, SWIR tartományban megnő a reflektancia. Szabó et al. (2016) eredményei szerint az NDWI nem ad számottevő plusz értéket az NDVI alapú értékeléshez, de Jackson et al. (2004) és Gu et al. (2007) szerint víztartalom becslésében az NDWI jobb. A két index közötti statisztikai kapcsolat érvényesíti a rájuk épülő NDDI aszály-indexet. Aszály esetén a vízindex értékek gyorsabban és nagyobb mértékben csökkennek, mint a vegetációs index, így az NDDI pozitív eltérése aszályt jelez. A mintaterületet is érintő validációs vizsgálatok szerint a terepi meteorológiai adatok alapján az NDVI és NDWI, míg az egyéb távérzékelési adatok szerint az EVI ad valósághűbb eredményeket (Kern et al. 2017, Gulácsi és Kovács 2018, Kovács 2018).

A sokéves átlag értékelése mellett a standardizált anomália adja meg a Mezősi et al. (2016) szerint is prognosztizált, fokozódó hidrológiai szélsőségeknek való kitettség mértékét, amely alapján lehatárolható a vizsgált időszak vízhiánya, mely a biomassza-produkciót mérsékli vagy dinamikáját időben eltolja.

$$NDDI_{\text{standardizált}} = (NDDI - NDDI_{\text{átlag}}) / NDDI_{\text{szórás}}$$

A lágyszárú vegetációs felszínek mutatói általában konzisztensek az aszály megjelenésével, de az erdők nem feltétlenül mutatnak hasonlóságot a meteorológiai anomáliákkal (Kern et al. 2017).

Mezőgazdasági terület vegetáció állapotának elemzése LUCAS adatbázis alkalmazásával

A mezőgazdasági monitoringban nehézség, hogy regionális léptékben nem áll rendelkezésre térbeli adat a különböző terméseredményekről. Megoldásként a nagy időfelbontású MODIS legnagyobb térbeli felbontású, 250 m-es felvételeit alkalmaztuk. A 16 napos MVC EVI index alapján megadott biomassza görbe értékek értékelésére tettünk kísérletet a LUCAS adatbázis segítségével meghatározott kukorica parcellákon, mert a kukorica az aszályra legérzékenyebb növény a szántóföldi kultúrnövények közül. A terepi felvételezésű, 3 évente frissülő adatbázisban meghatározott pontok fényképein rögzítik a területhasználatot.

Leválogattuk a kukorica területhasználatot jelző pontokat a 2006, 2009, 2012, 2015. évekre. A kiválasztott pont közelében nincs más területhasználat, így a vegetációs index valóban tükrözi a kukoricára vonatkozó körülményeket. A pontokra készített biomassza-produktum görbéket az egyes évek, valamint a főbb tájtypusok szerint térben és időben jellemeztük. A Pálfi-féle aszályindex (PAI) szerint a vizsgált 4 év közül a 2006 csapadékos év volt ($PAI_{\text{Szeged}} = 4.25$), míg a többi aszályosnak tekinthető

(2009 $PAI_{\text{Szeged}}=8.26$; 2012 $PAI_{\text{Szeged}}=13.97$; 2015 $PAI_{\text{Szeged}}=10.10$). Térbeli elemzést 4 db különböző régióra végeztünk (Bácska, Tiszántúl, Dunamente, Duna-Tisza köze), hogy eltérő természetföldrajzi viszonyokkal rendelkező területeken értékeljük az aszály következményeinek térbeli változatosságát.

Nagyon nagy felbontású vegetáció monitoring lehetőségei

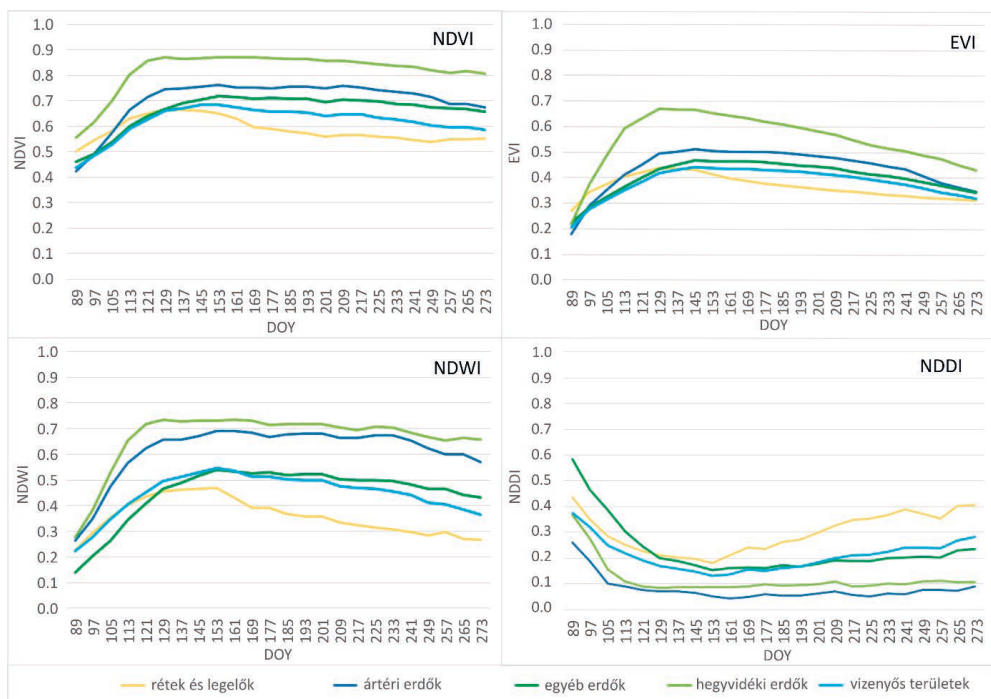
A parcella szintű értékeléshez fontos nagyon nagy térbeli felbontású adatgyűjtést kutatásunkban a senseFly eBee X merevszárnnyú drón biztosította a látható fényben érzékelő S.O.D.A. és az infravörös tartományt felvételező Parrot Sequoia+ szenzorok használatával. Az alkalmazott 8 cm-es felbontás részletes vegetáció monitorozásra ad lehetőséget, akár 20-30 km²-es területen is. Az őszi búza vetésű parcellákon a vízhiányos időszak hatásának vizsgálatára 2019 tavaszán nyílt lehetőség.

Eredmények

Hosszú idősoros vegetációs index adatok alkalmazhatóságának térbeli és időbeli vizsgálata az aszálymonitoringban

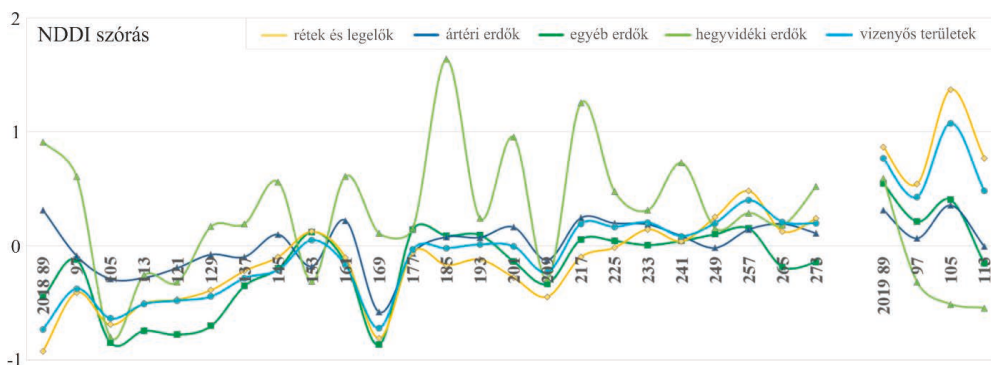
A sokéves, 2000-2017 közötti index átlagértékek igazolják az erdő, gyeperét/legelő és vizes élőhely lehatárolásunk helyességét, illetve mind a négy index figyelembe vételének jogosságát (4.2 ábra). A hasonló elv szerinti NDVI és EVI között is jelentős a különbség. A vártak megfelelően a dombvidéki erdőnél (Fruska Gora) a legnagyobb, és az év nagy részében a légyszárú vegetációnál a legalacsonyabb a biomasz-produkció. Az EVI jobban követi a biomasz-produkció éves változását, míg az NDVI-nél a nyári lombkorona kiteljesedés után a nagyon magas index medián értékek a vegetációs periódus hátralévő részében alig csökkennek. A legintenzívebb változás a vegetáció tavaszi növekedése, amikor EVI/NDVI mediánok május közepéig 0,1-el is nőnek a 16 napos időszakok alatt.

A legjobban az NDWI alapján határolhatjuk le a felszínfedettségi típusokat. A görbék futása a külső hatásokra érzékeny képet mutat. A magas NDDI aszályt feltételez, ami fontos az alacsonyabb értékek értelmezésénél; értelemszerűen a vízhiánnyal nem sújtott ártéri erdők NDDI átlaga a legalacsonyabb.



4.2 ábra Spektrális indexek 2000-2017 közötti átlag értékeinek alakulása a nyári félévben 8 napos kompozit képekre (Y tengelyen az év adott napja szerepel - DOY)

A standardizált NDDI anomáliával egyértelműen lehatárolhatók az extrém, aszályos vegetációs állapotok, így a 2018-19 térbeli vizsgálatával az előrejelzések szerinti egyre gyakoribb és súlyosabb aszályhelyzet földrajzi következményeit is értékeljük (4.3 ábra).



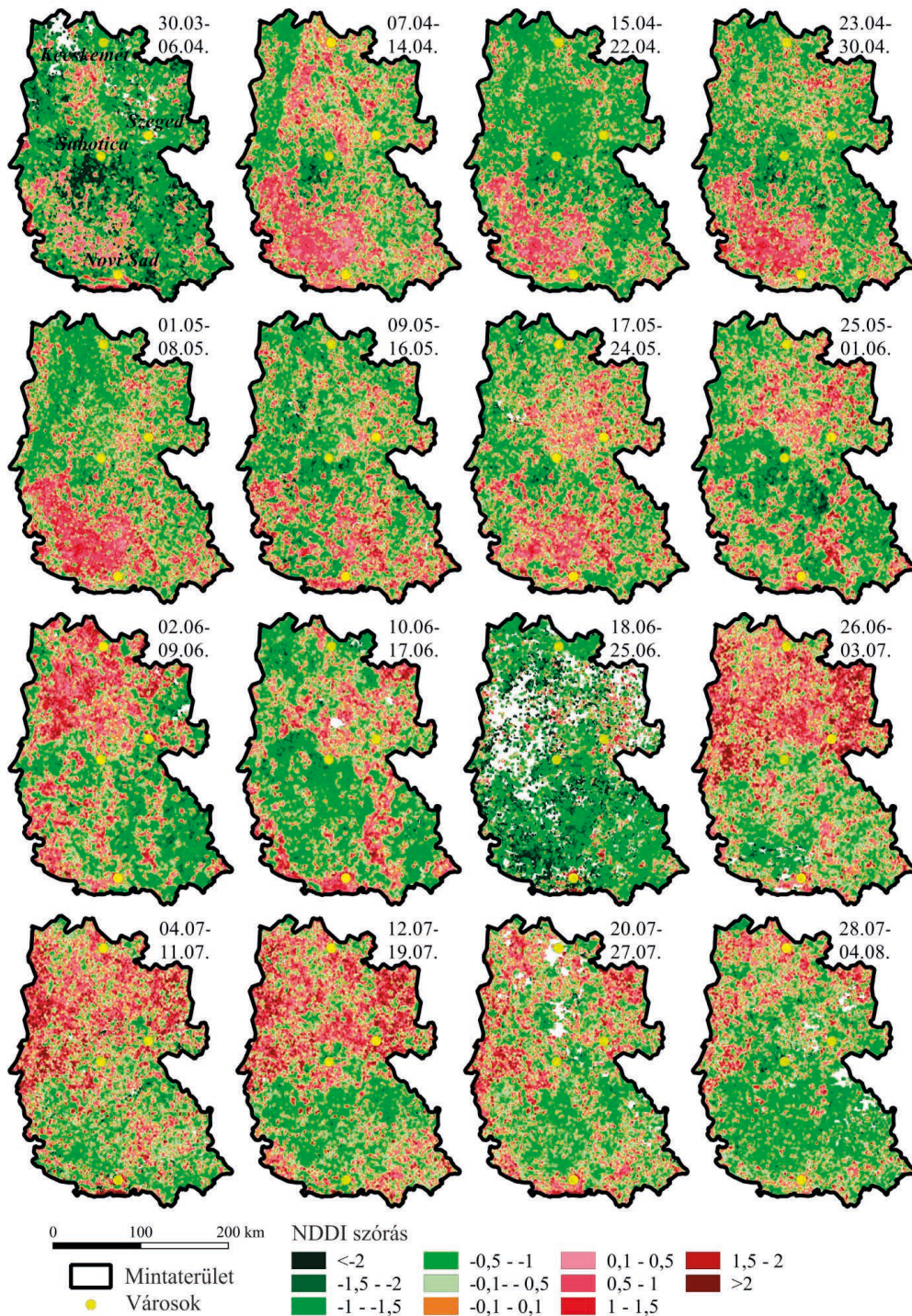
4.3 ábra NDDI standardizált eltérés medián átlagértékei 2018.03.30-10.07, valamint 2019.03.30-04.30. között (Y tengelyen az év adott napja szerepel - DOY)

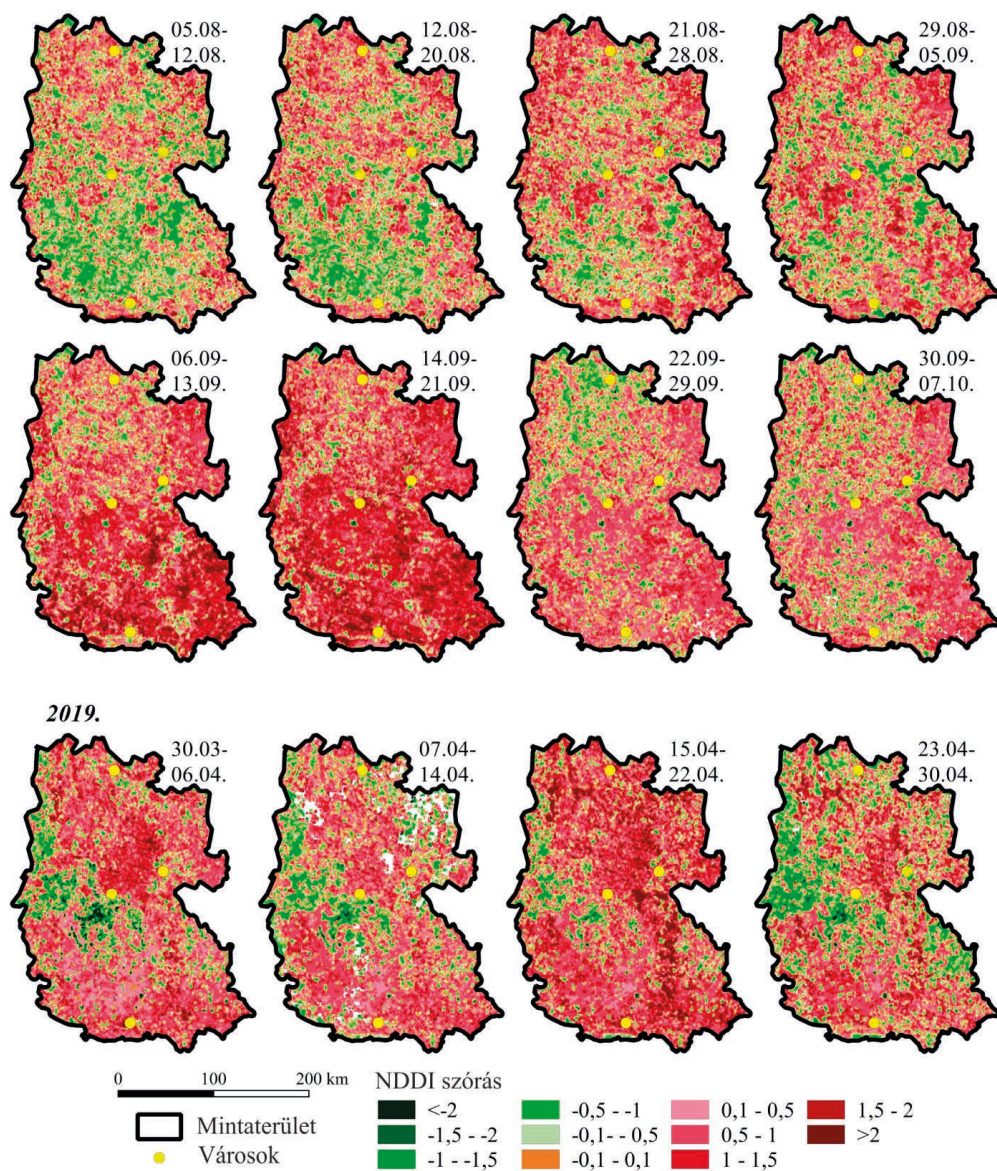
Az NDDI eltérésben az 1,0 érték feletti tartomány jelez aszályt. Ha egy felszínnek már az átlaga megközelíti, vagy meghaladja ezt az értéket, ott jellemzően aszályos körülmények figyelhetők meg. A 2018-as évben csak a dombvidéki erdő eltérés közelítette, vagy haladta meg az 1,0 értéket, de a csapadék- és hőmérsékleti viszonyoknak köszönhetően nem folyamatosan, így jelentős aszályról nem beszélhetünk. 2019 tavaszán folyamatosan 0,5 fölötti az eltérés a gyeprét/legelőkön és a vizes élőhelyeken, ami nem jó előjel a nyár felé közeledve. Hirtelen, nagy változások (NDDI eltérés > 2,0) fordulhatnak elő a térbeli eloszlásnál, ami elsősorban antropogén hatásokat feltételez (4.4 ábra).

A vizsgált felszínfedettségek évközi eltéréseinek átlagos görbéinél feltűnők a dombvidéki erdők indexérték eltérései, amely a vizsgált időszak több mint a felében vagy jellemzően magasabb értéket mutatnak a többi felszínnél, vagy azokkal pont ellentétesek. Ez azzal magyarázható, hogy a dombvidéki erdők kizárólag az Újvidéktől délre fekvő Fruska Gora hegység területén találhatók, vagyis a többi síkságon fekvő felszínnél magasabban, ráadásul a mintaterület legdélebbi határán, ami érintheti a dél felé fokozódó klímaváltozási hatásokat. A vizsgált felszínek NDDI eltérései a tavaszi időszakokban jelentkeznek, vagyis a fotoszintézist és víztartalmat ért hatások ekkor térnek el a legjobban. A vizes élőhely és a gyeprét/legelő kategóriák görbéinek futása ritkán különböző.

A klimatikusan viszonylag homogén mintaterületen a földrajzi hatásokon keresztül kimutathatók a lokális/regionális különbségek. Több időpontban jól elkülöníthető a Duna-Tisza közti síkvidék, vagy a Bácska alacsonyabban fekvő területe. A magyarországi részen 2018.06.26-tól – egy-két időszaktól eltekintve – folyamatosan a pozitív NDDI eltérésű területek túlsúlyban. Az egész mintaterületet jellemző aszály rajzolódik ki 2018. szeptember 6–21 között és jellemzi a 2019. évi áprilisi adatokat is. A pixel alapú elemzés az átlagértékektől eltérően jobban tükrözi a lokális jellegét, így a kedvező átlagértéket jelző időszakokban is találunk kedvezőtlen, aszályos felszíneket. A jellemzően a Duna-Tisza közén elterülő síksági erdőkben 2018 június elejétől 2019 április végéig lehatárolhatók a szinte folyamatosan pozitív NDDI eltérést mutató cellák.

2018



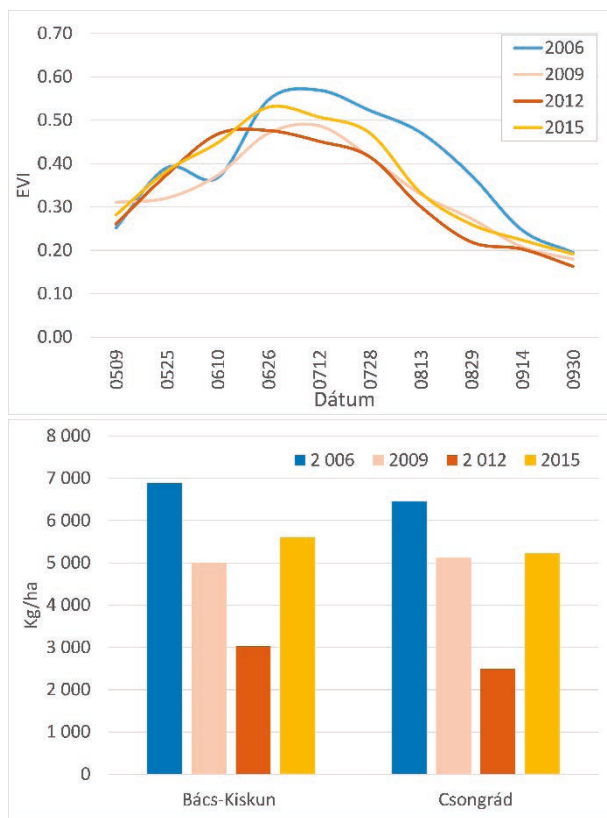


4.4. ábra Standardizált NDDI térbeli elemzése 2018-2019-ben

Mezőgazdasági területek tér- és időbeli állapotváltozása

A vizsgált évek közül a csapadékos 2006. év mutatja a legnagyobb EVI értékeket, igaz a június eleji átlagértékekben a 100 mm-t meghaladó havi csapadék (és keletkező belvíz) okozott vélhetően visszaesést, ami május-júniusban hullott. A 2009. és 2012. években az EVI görbe lefutása jól tükrözi az aszály hatásait: a májusi-júniusi

időszakra a többi évhez képest később induló 2009. évi EVI növekedése csak júliusra éri el az eleve alacsony csúcstértékét, míg a legjobb kezdeti növekedést mutató 2012. június elejétől folyamatosan a legalacsonyabb értéket mutatja az év végéig. Az EVI görbék fenti anomáliái jól összevethetők a megyei termésátlagokkal (4.5 ábra). Mindkét megyében 2006-ban volt a legmagasabb a termésátlag, és 2012-ben a legkisebb.

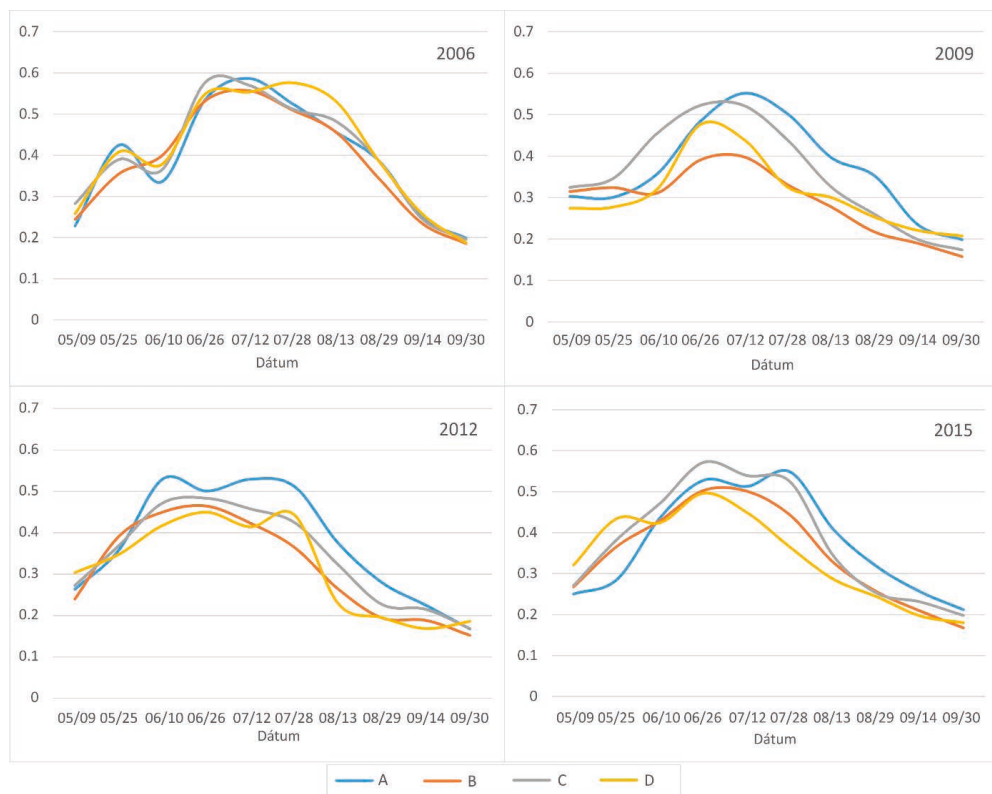


4.5 ábra A vizsgált kukorica parcellák átlagos EVI értékei a 16 napos MODIS MVC képek alapján a vizsgált években (a), Csongrád és Bács-Kiskun megyei kukorica termésátlag a vizsgált években (b)

A biomassa görbék 2006-ban mutatják a legegységesebb képet, a jó csapadékviszonyoknak köszönhetően (4.6 ábra). Itt látható legjobban a kukorica július-augusztusi teljes érése; a legnagyobb értékekkel a Duna-Tisza közén találkozunk. Ezzel szemben az EVI értékekben a legnagyobb különbségek 2009-ben tapasztalhatók; a legalacsonyabb átlagértékeket a tiszántúli parcellákon találjuk, miközben a bácskai adatok szép és egyenletes lefutást mutatnak. Az aszály hatásaként a Tiszántúl és a Duna-Tisza köze értékei 2006-al összevetve akár 50%-al is csökkentek. Az aszályos években, például 2015-ben az évi EVI görbéken a maximum mindenhol csak június végén/július elején látható, míg 2012-ben június elejétől minden vizsgált területen csökkent az EVI értéke. Utóbbi két év görbéin látható másodlagos (késői) maximumok a kukorica teljes éréséhez is köthetők, aminek alapvetően a száraz meleg időjárás kedvez, viszont ezekben

az években számolni kell a tavaszi/kora nyári csapadék hiányával. A 2012. és 2015. években az aszály súlyossága hasonló volt, de míg 2012-t egy 2011. évi nagyon meleg és aszályos év előzte meg, addig 2015. évet megelőzően 2014-ben nem volt aszály. Ez okozhatja a bácskai és a tiszántúli különbségeket, a vártnál magasabb értékeket. A legrosszabb termésátlagú években (2009, 2012) a legkisebb, vagy a második legkisebb biomassa produkciót a Duna-Tisza közti parcellákon tapasztalhatjuk, ami a jövőre nézve felveti a kukorica termesztés korlátait a térségben.

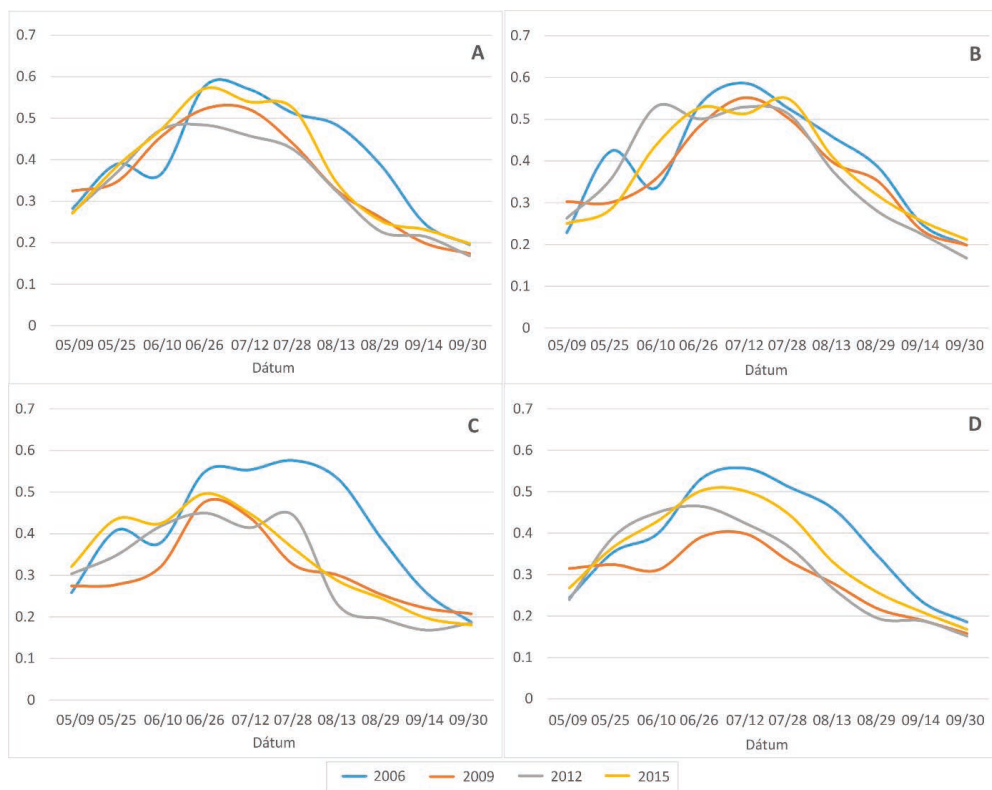
Az EVI átlagértékek hirtelen változása a környezeti viszonyokra, illetve az antropogén hatásra gyorsan reagáló vegetációra utal. A már említett 2006. évi (bel)vizes állapot mellett ilyen a 2012. évi Duna-Tisza közei és a 2015. évi bácskai adatsor aratás miatti augusztus közepi EVI értékcsökkenése, illetve a 2012. évi Duna-Tisza közti és 2015. évi dunamenti kedvező meteorológiai helyzet miatti július végi hirtelen növekedése.



4.6. ábra A 16 napos kompozit EVI index képekből rajzolt biomassa görbék a vizsgált évekre a LUCAS adatbázis kukorica parcella pontjaira Csongrád és Bács-Kiskun megyében. (A: Dunamente; B: Tiszántúl; C: Bácska; D: Duna-Tisza köze)

A középtáji EVI görbék időbeli lefutását illetően legkisebb eltérést a Bácskában és a Duna-mentén tapasztaltuk (4.7 ábra). A kis eltérések a kedvező (jó víztartó képességű) talajtani adottságoknak és vízellátottsági viszonyoknak köszönhetők. Nem csoda, hogy 2006. évi június eleji csapadék miatti visszaesés a Dunamentén a

legjelentősebb, a talajvíz elérhető közelsége és a víztartó talajok miatt. Nem csak az aszály, de a víz túlzott jelenléte is okozhat negatív produkciós anomáliát. Az aszályal szemben fokozott kitettségű Duna-Tisza közén a rossz vízgazdálkodási homoktalajok, és az alacsony talajvízszint mellett 2006-ban kiemelkedő az EVI produkció. A Duna-Tisza köze mellett a Tiszántúl EVI görbéi mutatják a legjelentősebb évenkénti eltéréseket.

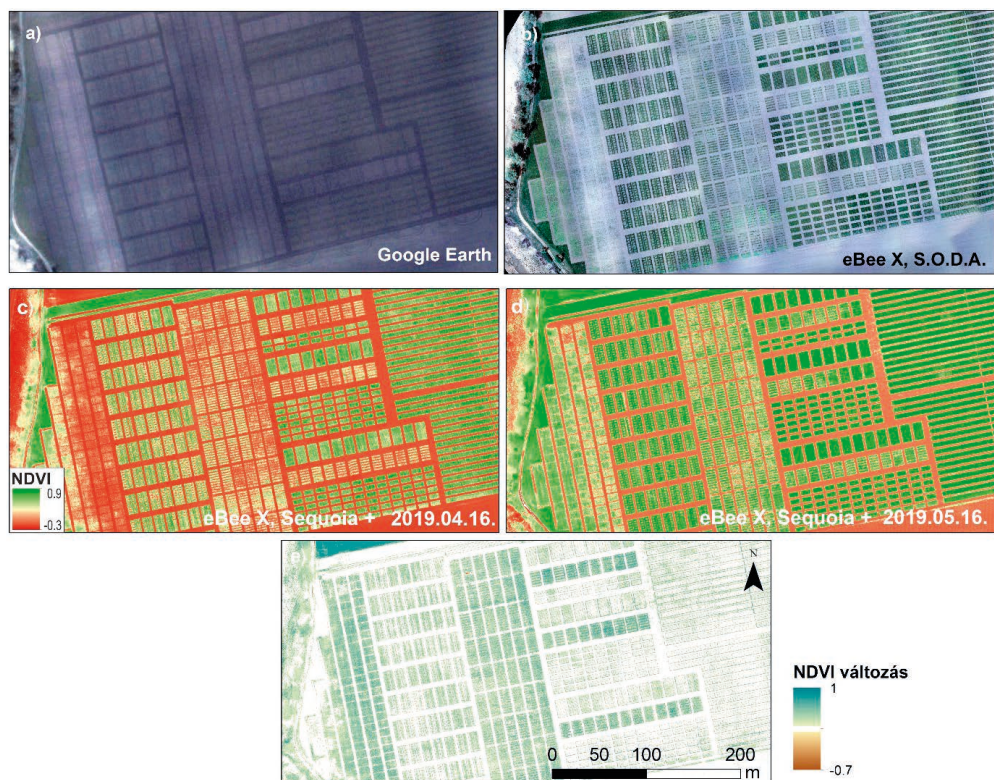


4.7 ábra A 16 napos kompozit EVI index képekből rajzolt biomassza görbék alakulása tájtípusok szerint a LUCAS adatbázis kukorica parcella pontjaira (A: Bácska; B: Dunamente; C: Duna-Tisza köze; D: Tiszántúl)

Drónnal történő nagy felbontású vegetáció monitoring lehetőségeinek vizsgálata

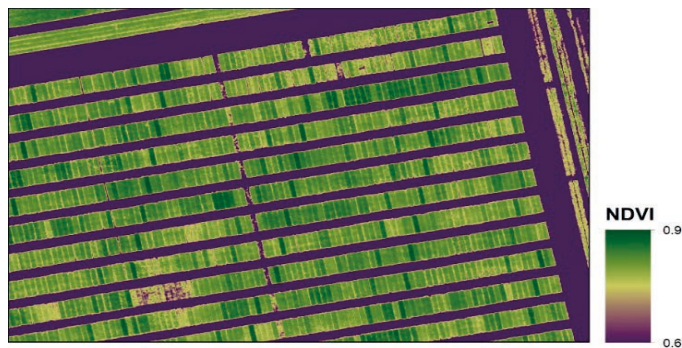
A 2019. április 16-án készített ortofotókon jól láthatók az őszi búza parcellákon belüli térbeli különbségek (4.8/b,c ábra). A peremterületi zöld sávok homogenitása annak köszönhető, hogy egy fajtából és a parcellákhoz képest nagy területen lett elvetve, mely növeli a kultúra gyomelnyomó képességét. Az NDVI térbeli anomáliák egyik oka a márciusi műholdfelvételen is jól látható talajtípus különbözőség (4.8/a ábra), másik ok a megjelenő gyomfajok heterogén elrendeződése. A gyomokat és

a gabonafajtákat az RGB felvételen könnyedén el lehet különíteni. A valós színes képen a fizikai talajféleséget jelző világosabb hosszanti foltok eleve hátrányba kerülnek aszály idején. A 4.8/c,d,e ábra szerint a májusi csapadék jelentős vegetációs fejlődést okozott, és még inkább elkülönültek a különböző fajták produktumai.



4.8 ábra Őszi búza parcellákról készült felvételek Szeged környezetében a) GeoEye műholdkép (GoogleEarth) 2019.03.14-én; b) senseFly S.O.D.A2-vel készült eBee X RGB drón felvétel 2019.04.16-án; c) Parrot Sequoia+-al készült eBee X NDVI drón felvétel 2019.04.16-án; d) eBee X NDVI drón felvétel: 2019.05.16. e) NDVI változás 2019.04.16 – 05.16. között

A szélsőséges vízellátottság és időjárás-viszonyok a felvételezést is korlátozzák. Az év eleji nagy szélsőesség többször korlátozta a felvételezést, illetve az alacsony talajnedvesség miatt a csírázás sokkal később indult meg. A májusi intenzív csapadékos időszakban a felhőborítás jelentette a monitoring szűk keresztmetszetét. A kísérleti területen belül található talajfoltok kultúrára gyakorolt negatív hatásait, randomizált vagy fix metodika szerinti fajtaismétléssel mérséklük, így a tenyészkert különböző helyein ismétlődnek a fajtaparcellák (4.9 ábra).



4.9 ábra Fajtaisméltódás a kísérlet északkeleti blokkjában.

Összegzés

Környezeti monitoring vizsgálatunkban kis- és nagy térbeli- és időbeli felbontásban kaptunk eredményeket különböző területhasználatokra. Eredményeinket az adatok körütekintő előfeldolgozása is megalapozta, a regionális léptékű elemzést is homogenen felszínfedettségi lehatárolással értük el. Az alkalmazott spektrális indexeknél tapasztalt különbségek igazolják mind a négy féle index figyelembe vételének jogosságát.

A különböző fedettségű vegetációs biomassza-produktumra jellemző alapvető különbségek jelzik, hogy a folyamatok csak ebben az egy tájalkotó tényezőben is összetettek. A klimatológiai előrejelzések alapján a melegedés folyamata, illetve az extrém száraz, aszályos időszakok előfordulásának gyakorisága a közeljövőben fokozódni fog, ami várhatóan tartóssá teszi a jelenleg még rövid időszakra jellemző biomassza-produktum csökkenést. A változékonyságon látható a vegetáció környezeti hatásokra adott gyors válasza. Az extrém vízhiányos évek vagy időszakok hatása a vegetáción keresztül, az eltérések statisztikai és térbeli megjelenésével jól értékelhető, az agrárium számára támogatja a megelőzést. Eredményeink alátámasztják a kukorica termesztés korlátait a Duna-Tisza köze térségben.

A folyamatok összetettsége miatt az aridifikációs kutatásokban érdemes törekedni a szintézis alapú gyakorlati javaslatok megfogalmazására. A monitoring vizsgálatok további célja a növekvő adatsorban rejlő statisztikai lehetőségek kiaknázása. A vegetáció funkcióinak jobb megértéséhez ismerni kell az időjárási és talajtani paraméterekkel való kapcsolatát, akár parcella szinten is.

Vizsgálataink új eredményei a több érzékelőnél is tapasztalható távérzékelési adatszolgáltatás minőségi javulásának köszönhető. Az adatbázisok a tanulmányban is használt módszerekkel jó eredményekkel szolgálhatnak az operatíván működő, közel valós idejű, automatikus változás-érzékelés létrehozásához.